



6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

6CFE01-068

Montes: Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz



Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013
ISBN: 978-84-937964-9-5
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Dendroecología de *Pinus pinea* L. en el suroeste de España y su aplicación para el estudio de la vulnerabilidad de especies forestales ante el cambio global

NATALINI, F.¹, ALEJANO MONGE, R.², VÁZQUEZ-PIQUÉ, J.², CAÑELLAS, I.³ y GEA-IZQUIERDO, G.³

¹ Alumno de Doctorado, Universidad de Huelva

² Departamento de Ciencias Agroforestales, Universidad de Huelva

³ Departamento Selvicultura y Gestión Forestal Sostenible, INIA-CIFOR, Madrid

Resumen

El patrimonio forestal del sur de España se encuentra amenazado por el cambio global. En ese contexto, destaca la importancia de evaluar la vulnerabilidad de las masas forestales y sus respuestas al clima. En este trabajo se estudió una cronología de *Pinus pinea* en Huelva, con el fin de estudiar cómo varía su productividad en relación con el clima. Las precipitaciones invernales y primaverales resultaron favorables para el crecimiento mientras las altas temperaturas en primavera fueron negativas. Los valores del incremento en área basimétrica revelaron una tendencia negativa a partir de los años '70 coincidiendo con un aumento en las condiciones de estrés hídrico. Los años de crecimiento mínimos coincidieron con los años de mínima disponibilidad hídrica. Este declive en el crecimiento puede indicar la vulnerabilidad de estas masas ante el cambio global. En las últimas décadas, se observó una correlación decreciente con las precipitaciones en junio y las temperaturas primaverales, y creciente con las temperaturas en invierno. La variabilidad de las relaciones clima-crecimiento puede indicar un proceso de adaptación a las nuevas condiciones climáticas en la fenología de la actividad cambial.

Palabras claves

Pinus pinea L., Dendroecología, Relaciones clima-crecimiento, Cambio global

1. Introducción

La dendrocronología permite investigar el crecimiento de las masas forestales y sus relaciones con los factores externos en marcos temporales amplios, abarcando varias décadas del pasado. En ese trabajo consideramos esa ventaja como de particular interés de cara al cambio global y a sus efectos en el patrimonio forestal español.

En el área mediterránea, el cambio climático se concreta en un aumento de las temperaturas y en un descenso de la disponibilidad hídrica; la sequía y las olas de calor conllevan un aumento de la vulnerabilidad de los ecosistemas terrestres (IPCC, 2007). Un descenso en la cuantía de las precipitaciones en la península ibérica ha sido observado en las últimas décadas (RODRIGO y TRIGO, 2007), y se evalúa como probable en Andalucía en el próximo futuro (SUMMER et al., 2003).

La severidad climática puede causar el declive de la productividad y tener un papel clave en la mortandad de los pies. Los efectos de la sequía han sido estudiados en la reducción del incremento de área basimétrica (DI FILIPPO et al., 2010). La mortandad de los árboles ha sido estudiada en relación a los descensos del crecimiento (BIGLER & BUGMANN, 2004) y observada como resultado del estrés hídrico prolongado (BRESHEARS et al., 2009). Un fenómeno muy destacado por su severidad es la alta mortandad de *Quercus ilex* L. que se observa actualmente en las dehesas de la provincia de Huelva (NAVARRO, 2011).

En ese contexto, destaca la importancia de evaluar la vulnerabilidad de las masas forestales. En este trabajo estudiamos el crecimiento de un pinar de la provincia de Huelva a lo largo del último siglo, analizando sus relaciones con las variables climáticas y tratando de explicar la implicación del cambio climático en las tendencias de crecimiento.

2. Objetivos

Objetivos del presente trabajo son:

- Elaborar una cronología de *Pinus pinea* L. para la provincia de Huelva y utilizar las mediciones de anchura de anillos para estudiar la productividad de la masa.
- Investigar cuáles son los factores climáticos a escala anual, estacional y mensual que más condicionan el crecimiento de la especie.
- Interpretar las posibles implicaciones del clima en la vulnerabilidad del ecosistema e investigar los cambios en la respuesta del ecosistema a los factores externos.

3. Metodología

Cronología

Para la elaboración de la cronología fue elegido el pinar del “Saltillo”, en el término municipal de Valverde del Camino (Huelva). El área de muestreo se sitúa en una zona llana, en un fustal de densidad alta y escaso sotobosque. El clima de la zona es Mediterráneo, con temperaturas y sequías máximas en julio-agosto y precipitaciones máximas desde octubre hasta marzo.

El muestreo se efectuó en marzo del 2012. Con el fin de obtener series cronológicas largas, se eligieron los 20 árboles de mayor diámetro, con tronco recto y que no presentasen heridas u otros daños. Se sacaron dos testigos por cada árbol a 1,3 m, ortogonales al tronco y entre sí, con barrena forestal de Pressler. Los testigos fueron fijados posteriormente en soportes de madera y lijados para obtener una superficie lisa con anillos de crecimientos visibles.

La observación de los testigos y la medición de anchura de los anillos de crecimiento anual (en centésimas de mm) se efectuaron con estereomicroscopio (1,0x-3,0x) y tabla móvil LintabTM (Rinntech[®]) conectada a ordenador. Se efectuó una sincronización visual preliminar de las series cronológicas individuales. La sincronización fue posteriormente verificada con los parámetros estadísticos Glk, T-value y CDI en TSAP-WinTM (Rinntech[®]) y finalmente con COFECHA (GRISSINO-MAYER, 2001). Las series individuales de anchura de anillos fueron estandarizadas dividiendo los valores medidos por splines de 32 años ajustados y eliminando la autocorrelación. El proceso de estandarización elimina la influencia en el crecimiento de la edad de los individuos y los efectos de baja frecuencia debidos a los procesos de competencia entre los pies, aislando así los efectos de alta frecuencia debidos al régimen climático (COOK et al., 1990). La cronología residual media (índices de anillos, “Gi”) de la parcela fue obtenida aplicando una media robusta entre las series individuales estandarizadas. El proceso se realizó con el paquete dplR (BUNN, 2008) del software R.

El indicador EPS (“expressed population signal”) fue usado para verificar la fiabilidad de la cronología como proxy climático; un valor de EPS menor que 0,85 indica que la variabilidad de la cronología media es dominada por la variabilidad de las series individuales y no expresa adecuadamente la señal media a nivel de ecosistema (SPEER, 2010).

Clima y crecimiento

Los valores mensuales del Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI) (PALMER, 1965) y diarios de precipitación, temperatura media, máxima y mínima, se obtuvieron en la base de datos internacional European Climate Assessment & Dataset (<http://climexp.knmi.nl>). El conjunto de datos climáticos disponibles más cercano a la zona de

estudio fue el de la estación meteorológica de Huelva (con registros desde el 1920). A partir de estas series climáticas, se calcularon los valores a escala mensual, estacional (invierno: dic-ene-feb; primavera: mar-abr-may; verano: jun-jul-ago; otoño: sep-oct-nov) y anual (año hidrológico: desde noviembre del año anterior hasta octubre del año en curso).

Fueron estudiadas las correlaciones (coeficiente de Pearson) entre crecimiento (índices adimensionales de anillos) y valores climáticos anuales, estacionales y mensuales. El análisis de correlación se efectuó por medio del programa DENDROCLIM2002 (nivel de significación en las correlaciones 0,05) (BIONDI & WAIKUL, 2004).

Para estudiar la variación de la productividad de la masa en el tiempo fue calculado el incremento de área basimétrica (BAI) para cada serie individual a partir del diámetro medido a 1,30 m y restando la anchura de anillo multiplicada por dos.

Con el fin de discutir la posible implicación del cambio climático en la vulnerabilidad del ecosistema, se investigó la existencia de tendencias en las series climáticas que pudiesen ser contrastadas con la tendencia del BAI. El incremento de área basimétrica no presenta la tendencia decreciente con la edad existente en el crecimiento lineal, y por lo tanto su declive se relaciona a factores de perturbación externos (NAKAWATASE & PETERSON, 2006). Se tuvieron en cuenta años de sequía grave ($-3 < \text{PDSI} < -3,99$) y extrema ($\text{PDSI} \leq -4$) (VALIENTE, 2001) y se investigó la correspondencia entre ellos y los valores mínimos del BAI (“pointer years” negativos).

Para investigar la existencia de cambios en las relaciones entre el crecimiento del ecosistema y los factores externos, fue calculada la sensibilidad media del pinar en ventanas móviles de 20 años. La sensibilidad media es un indicador del nivel de respuesta de la masa forestal a los factores externos; se define como el cambio medio porcentual de crecimiento entre cada anillo de la serie y el siguiente, y varía entre 0 (árbol indiferente, sin cambios apreciables entre crecimientos sucesivos) y 1 (árbol extremadamente sensible, con máxima variabilidad entre anillos y con numerosos anillos ausentes o “micro-anillos”) (SPEER, 2010). Asimismo, para detectar los posibles cambios en la respuesta del ecosistema al clima, se calcularon por ventanas móviles de 20 años las correlaciones entre índices de anillos (“Gi”) y valores climáticos mensuales y estacionales.

4. Resultados

Cronología

Fueron datadas 39 series individuales (testigos) sobre el total de 40 testigos recogidos. La figura 1 presenta la cronología media de anchura de los anillos, y la cronología media residual (índices adimensionales de anillos). A partir del 1887 la amplitud de muestreo está por encima de 10 árboles, y a partir del 1900 supera los 15 árboles.

La tabla 1 presenta la estadística de las cronologías y se indica los valores de correlación referidos a la cronología media de anchura de anillo o a la cronología residual. Los valores de correlación entre los testigos y entre los árboles, así como las correlaciones medias entre las series individuales y la cronología media de la parcela, indican la calidad de la cronología y la exactitud de la datación. El valor de EPS está por encima de 0,85.

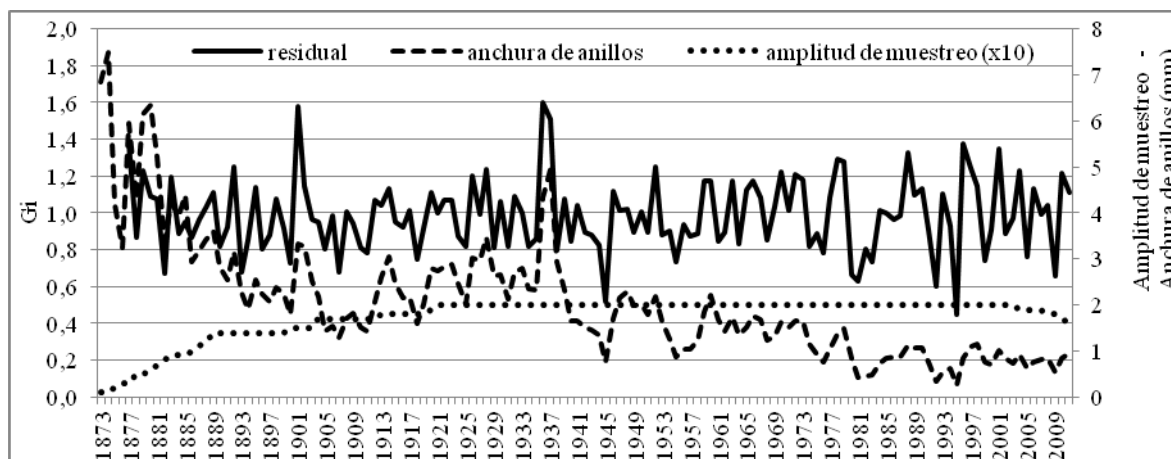


Figura 1. Cronología de Gi y cronología residual. Amplitud de muestreo (número de árboles que constituyen la cronología, multiplicado por 10).

Tabla 1. Estadísticas de las cronologías medias. (*) Sin estandarización. (**) Serie residual.

| | |
|--|--------------------|
| Lapso (número de años) | 1873-2011 (139) |
| Árboles (testigos) | 20 (44) |
| Anchura media de los anillos (mm) | 2,06 |
| Sensibilidad media | 0,29 |
| Autocorrelación | 0,81 (*) 0,03 (**) |
| Coeficientes medios de correlación | |
| – entre testigos y cronología media | 0,66 (*) |
| – entre árboles y cronología media | 0,67 (*) |
| Análisis de correlación en el lapso temporal común a todos los testigos: | |
| – Intervalo de tiempo | 1920-2009 |
| – Correlación media | |
| entre todos los testigos | 0,68 (*) 0,57(**) |
| entre testigos del mismo árbol | 0,89 (*) 0,80(**) |
| entre testigos de distintos árboles | 0,68 (*) 0,56(**) |
| EPS | 0,97 |

Clima y crecimiento

Las variables climáticas revelaron una acentuación del estrés hídrico en las últimas décadas. El incremento de temperaturas desde los años 80 (figura 2A) no ha correspondido a un aumento de las precipitaciones: las lluvias acumuladas en el año hidrológico no variaron, salvo un descenso apenas apreciable en los años 80-90, mientras que las lluvias primaverales disminuyeron de manera más pronunciada (figura 2B). Las series del PDSI medias entran en una fase de tendencia negativa en los últimos años de la década de los 70, intensificándose en los años 80 y 90, cuando se registraron los eventos de mayor sequía, especialmente en primavera, periodo de mayor actividad cambial (figura 3).

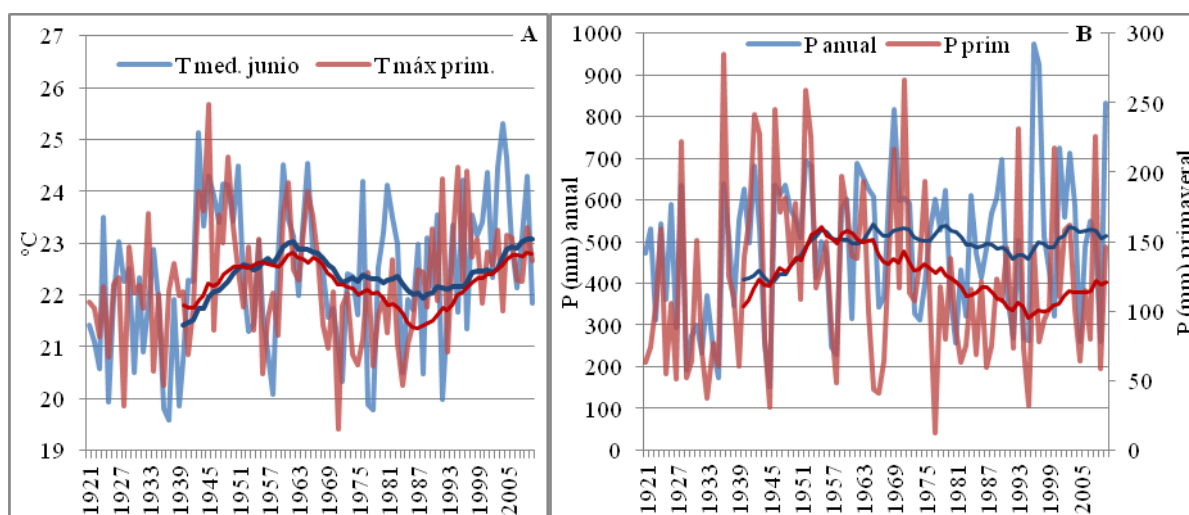


Figura 2. A: temperaturas medias de junio y máximas primaverales y anuales (valores medios). B: tendencia de las precipitaciones acumuladas en primavera y en el año hidrológico. Las líneas de tendencia son medias móviles de 20 años.

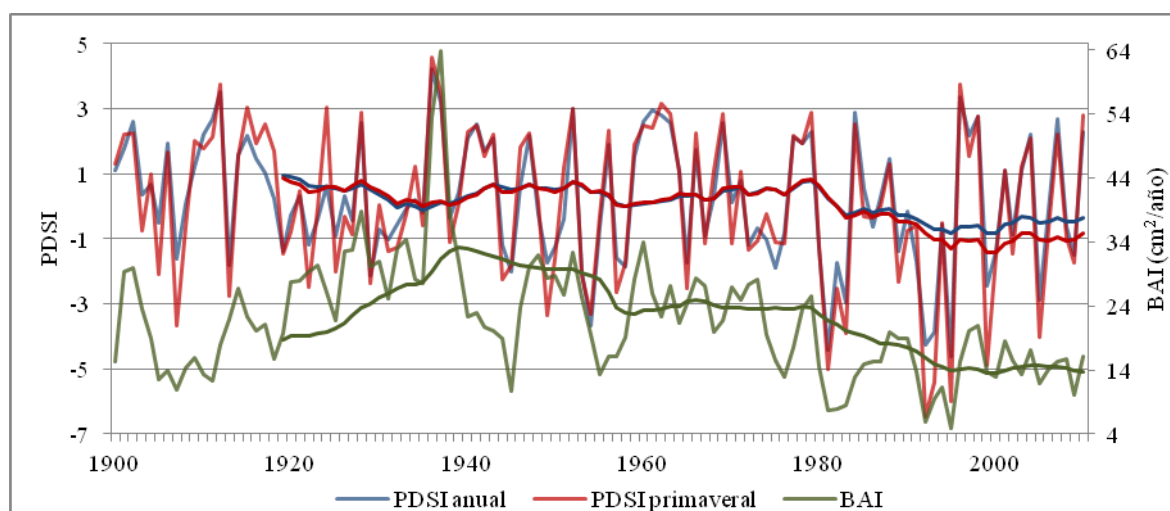
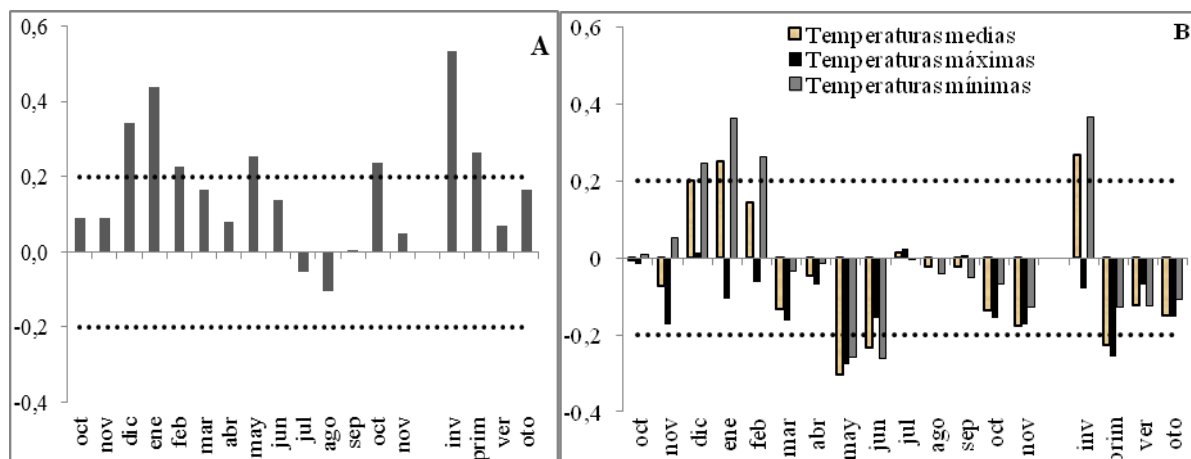


Figura 3. Serie temporal del índice de severidad de la sequía de Palmer (PDSI) medio del año y de la primavera corriente y del incremento de área basimétrica (BAI) ($\text{cm}^2/\text{año}$). Las líneas de tendencias son medias móviles de 20 años.

El crecimiento del pinar está positivamente correlacionado con el PDSI medio y con las precipitaciones acumuladas del año hidrológico corriente, y negativamente correlacionado con la media de las temperaturas máximas (valore medios) del año corriente. No se encontraron correlaciones significativas con el clima del año anterior (tabla 2). A escala mensual y estacional, se encontró correlación positiva con las precipitaciones invernales, primaverales (mayo) y de octubre (figura 4A). Además, el crecimiento está correlacionado positivamente con las temperaturas medias y mínimas (valore medios) invernales, y negativamente con las temperaturas en primavera y principio de verano (junio) (figura 4B). No se encontraron correlaciones significativas con las variables climáticas de julio, agosto y septiembre.

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre G_i y variables climáticas (PDSI medio y precipitaciones acumuladas) del año hidrológico en curso y anterior. (*) valores significativos

| | (año corriente) | (año anterior) |
|----------------|-----------------|----------------|
| PDSI | 0,56 (*) | 0,09 |
| Precipitación | 0,58 (*) | 0,02 |
| T (°C) máximas | -0,21 (*) | |



El incremento de área basimétrica revela un descenso desde finales de los años 70 y principios de los 80, coincidiendo con un aumento en las condiciones de sequía (figura 3). En las décadas más recientes se observaron los eventos de mayor sequía, a los que corresponden descensos muy marcados en los valores del BAI (tabla 3). En los periodos 1981-1983 y 1992-1993, cuando se registraron eventos extremos de sequía, los crecimientos se mantuvieron en valores muy bajos, sin variación apreciable.

Tabla 3. Años de sequía grave ($PDSI \leq 3$) y muy grave ($PDSI \leq 4$) y valores correspondientes del incremento de área basimétrica. Los valores porcentuales entre paréntesis son la variación de crecimiento respecto al año anterior. (*) Años sin variación apreciable.

| | BAI ($\text{cm}^2/\text{año}$) | PDSI medio anual | PDSI medio primaveral |
|------|----------------------------------|------------------|-----------------------|
| 1981 | 7,0 (-48%) | -4,4 | -5 |
| 1983 | 8,4 (*) | -2,9 | -3,9 |
| 1992 | 5,9 (-57%) | -4,3 | -6,5 |
| 1993 | 9,5 (*) | -3,9 | -5,4 |
| 1995 | 4,8 (-57%) | -4,62 | -6 |
| 1999 | 13,8 (-34%) | -2,4 | -4,9 |
| 2005 | 11,8 (-30%) | -2,9 | -4 |

Las relaciones entre crecimiento y factores externos han cambiado a lo largo de la vida del pinar. Tales variaciones son descritas por la sensibilidad media que se mantuvo por debajo de 0,25 hasta finales de los años 70 y principios de los 80 (figura 5) y posteriormente creció de forma brusca hasta valores entre 3 y 3,5.

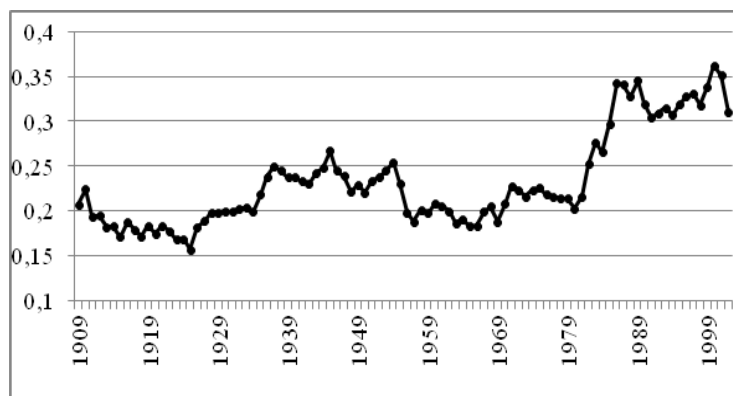


Figura 5. Sensibilidad media calculada por ventanas móviles de 20 años. En el eje horizontal se indican los años medianos de la ventana móvil.

Asimismo, en las mismas décadas se observaron cambios en las correlaciones clima-crecimiento (figura 6). La correlación positiva con las precipitaciones en junio perdió significación y pasó más recientemente a tomar valores negativos mientras que las temperaturas primaverales se convirtieron en un factor significativo y negativo. A partir de los años 70, las temperaturas y las precipitaciones invernales aumentan considerablemente su importancia con respecto a los decenios anteriores.

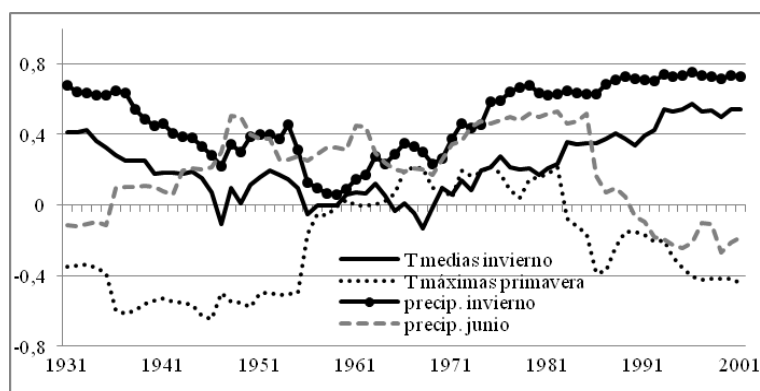


Figura 6. Correlaciones medias por ventanas móviles entre G_i y temperaturas (valores medios) y precipitaciones acumuladas.

5. Discusión

El análisis de las correlaciones entre índices de anillos y variables climáticas a escala anual, estacional y mensual sugiere que el crecimiento del pinar del “Saltillo” en Valverde depende en máxima parte de la disponibilidad hídrica del año hidrológico corriente desde el invierno hasta la primavera. La correlación positiva con las precipitaciones invernales se puede interpretar con la recarga de agua en el suelo antes del inicio del periodo de crecimiento. Además, las coníferas perennifolias en regiones con inviernos templados pueden efectuar la fotosíntesis en invierno (FERNANDEZ y TAPIAS, 2005; TESKEY et al., 1994). Eso puede explicar también la correlación positiva con las temperaturas mínimas y medias de diciembre a febrero. La correlación del crecimiento con las precipitaciones en mayo parece indicar la importancia de la disponibilidad de recursos hídricos en el periodo de formación del anillo; asimismo, las temperaturas muy altas en mayo y junio afectan al crecimiento, lo que puede explicarse con una reducción de la actividad fotosintética por disminución de los recursos hídricos (ROZAS, 2005). El crecimiento no parece responder a los factores climáticos entre julio y septiembre, como resulta de la falta de significación en las correlaciones en ese periodo. Julio y agosto son los meses más cálidos y secos del año, y las lluvias en ese periodo

no son suficientes para compensar las condiciones de sequía debidas a las temperaturas. Por el contrario, la correlación positiva con la lluvias en octubre sugiere que los arboles pueden beneficiarse en ese mes de condiciones más favorables para el crecimiento. El crecimiento en otoño de las especies mediterráneas, además de un segundo pico anual en fotosíntesis, ha sido documentado en varios estudios (GUTIÉRREZ et al., 2011; CAMARERO et al., 2010). Resultados comparables con los encontrados en el pinar del Saltillo en Valverde con respecto a las correlaciones con los valores climáticos mensuales han sido observados para *Pinus pinea* en Portugal (CAMPELO, 2007).

En la fase de declive del BAI (años 80-90) se observó una sincronía con la serie del PDSI. Otros trabajos informan que la tendencia de la proporción edad/diámetro de pies sanos en posición dominante en la copa debería mantenerse positiva o bien aproximarse a una asíntota (POAGE & TAPPEINER, 2002). Un descenso en el incremento de área basimétrica puede indicar la entrada del ecosistema en una fase de decaimiento (DUCHESNE et al., 2003) y la sequía es un factor climático que tiene un papel relevante en ese proceso (DI FILIPPO et al., 2010). En el presente trabajo el aumento de las condiciones de sequía es descrito también por el aumento de las temperaturas, frente a una falta de aumento del aporte hídrico. Además, los años de sequía más pronunciada (grave y muy grave, según el índice PDSI) corresponden con los datos de menor productividad de la masa (“pointer years” negativos), y se sitúan en las décadas que señalan el declive productivo de la masa. El contraste entre las series climáticas y la tendencia del BAI pueden indicar una implicación del clima en el declive del crecimiento de la masa forestal.

La implicación del clima en el descenso de la productividad del ecosistema puede relacionarse también el aumento de la respuesta del ecosistema a los factores externos, indicado por el aumento de la sensibilidad media, un indicador que puede aumentar con un ascenso de las condiciones de sequía (FRITTS et al, 1965).

El estudio de las correlaciones clima-crecimiento por ventanas móviles permite investigar cambios en la respuesta de las masas forestales a los factores climáticos que condicionan su productividad (ANDREU et al. 2007; GEA-IZQUIERDO, 2009). A partir de los años 70, los inviernos templados y las precipitaciones invernales aumentan considerablemente su importancia con respecto a los decenios anteriores como factores favorables para la productividad del ecosistema. En paralelo, las precipitaciones en junio parecen haber perdido su influencia positiva en el crecimiento y las temperaturas primaverales se convierten en un factor significativamente negativo. Tales observaciones sugieren una respuesta a un proceso de acentuación del régimen de severidad climático, por la que el ecosistema varía su fenología en función de la distribución temporal de las condiciones que favorecen o afectan al crecimiento.

6. Conclusiones

De este trabajo resultan:

- Una cronología de *Pinus pinea* para la provincia de Huelva que puede constituir referencia en futuros estudios dendrocronológicos en este ámbito geográfico;
- La productividad de la masa revela un declive en sincronía con las series climáticas, que muestran un aumento de las condiciones de sequía en las últimas décadas, con fenómenos puntuales (años de sequía grave y muy grave) que corresponden con valores mínimos en el incremento de área basimétrica.
- El crecimiento del pinar es principalmente condicionado por la disponibilidad hídrica en invierno y primavera; revela un aumento de la correlación con los inviernos templados y una pérdida de la correlación con las lluvias del principio del verano en

las últimas décadas; las temperaturas altas en primavera afectan al crecimiento de forma más significativa en tiempos recientes.

- El ecosistema forestal objeto de estudio revela un cambio en la distribución temporal de la actividad cambial, fenómeno que sugiere un proceso de adaptación de los ecosistemas forestales y su vulnerabilidad frente al cambio climático.

7. Bibliografía

ANDREU, L.; GUTIÉRREZ, E.; MACÍAS, M.; RIBAS, M.; BOSCH, O.; CAMARERO, J.J.; 2007. Climate increases regional tree-growth variability in Iberian pine forests. *Global Change Biol.* 13 804–815

BIGLER, C.; BUGMANN, H.; 2004. Predicting the time of tree death using dendrochronological data. *Ecological Applications* 14 902–914

BIONDI, F.; WAIKUL, K.; 2004. DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Comput. Geosci.* 30 303–311

BRESHEARS, D. D.; ORRIN, B. M.; CLIFTON, W. M.; FAIRLEY, J. B.; CHRIS, B., Z.; CRAIG, D. A.; NATHAN G. M.; WILLIAM T. P.; 2009. Tree Die-Off in Response to Global Change-Type Drought: Mortality Insights from a Decade of Plant Water Potential Measurements. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7(4) 185-189

BUNN, A. G.; 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* 26(2) 115-124

CAMARERO, J.J.; OLANO, J.M.; PARRAS, A.; 2010. Plastic bimodal xylogenesis in conifers from continental Mediterranean climates. *New Phytologist* 185 471-480

CAMPELO, F.; NABAIS, C.; FREITAS, H.; GUTIÉRREZ, E.; 2007. Climatic significance of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in *Pinus pinea* from a dry Mediterranean area in Portugal. *Ann. For. Sci.* 64(2) 229–238.

COOK E.R.; BRIFFA K.R.; SHIYATOV S.; MAZEPA V.; 1990. Tree-ring standardization and growth-trend estimation. En: COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. (eds.). *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences.* 104-123. Kluwer Academic Publishers, Boston

DI FILIPPO, A.; ALESSANDRINI, A.; BIONDI, F.; BLASI, S.; PORTOGHESI, L.; PIOVESAN, G.; 2010. Climate change and oak growth decline: Dendroecology and stand productivity of a Turkey oak (*Quercus cerris* L.) old stored coppice in Central Italy. *Ann. For. Sci.* 67 706

DUCHESNE, L; OUMET, R; MORNEAU, C.; 2003. Assessment of sugar maple health based on basal area growth pattern. *Canadian Journal of Forest Research* 33 2074–2080

GUTIÉRREZ, E.; CAMPELO, F.; CAMARERO, J.J.; RIBAS, M.T.; MUNTAN, E.; NABAIS C.; FREITAS, H.; 2011. Climate controls act at different scales on the seasonal pattern of *Quercus ilex* L. stem radial increments in NE Spain. *Trees* 25(4) 637-646

FERNANDEZ, M., TAPIAS, R.; 2005. Photosynthetic response to light and temperature of Spanish pines young seedlings. En: MEDPINE 3: Conservation, regeneration and restoration of Mediterranean pines and their ecosystems. Book of Abstracts. 97. Mediterranean Agronomic Institute, Valenzano (Bari), Italia

FRITTS H.C.; SMITHD, G.; CARDIS, J.W.; BUDELSKY, C.A.; 1965. Tree-ring characteristics along a vegetation gradient in Northern Arizona. *Ecology* 46 393–401

GEA-IZQUIERDO, G.; MARTÍN-BENITO, D.; CHERUBINI, P.; CAÑELLAS, I.; 2009. Climate growth variability in *Quercus ilex* L West Iberian open woodlands of different stand density. *Ann. Forest Sci.* 66 802

GRISSINO-MAYER, H.D., 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Bull.* 57 205–221

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. En: PACHAURI, R.K.; REISINGER, A (eds.). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland

NAKAWATASE J.M.; PETERSON, D.L.; 2006. Spatial variability in forest growth–climate relationships in the Olympic Mountains, Washington. *Canadian Journal of Forest Research* 36 77–91

NAVARRO, R.M.; 2011. Situación actual de las dehesas andaluzas. En: ALEJANO, R., DOMINGO, J.M.; FERNÁNDEZ, M. (Eds.). Manual para la Gestión Sostenible de las Dehesas Andaluzas. Foro Encinal-Universidad de Huelva. Huelva

PALMER, W.C.; 1965. Meteorological drought. Research paper 45. Office of Climatology, US Weather Bureau. Washington DC

POAGE J., TAPPEINER J.C.; 2002. Long-term patterns of diameter and basal area growth of individual old-growth and young-growth forests in western Oregon. *Canadian Journal of Forest Research* 32 1232–1243

RODRIGO, F.S.; TRIGO, R.M.; 2007. Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002. *Int. J. Climatol.* 27 513–529

ROZAS, V. 2005. Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate. *Ann. For. Sci.* 62 209–218

SPEER J. H., 2010. Fundamentals of Tree-Ring Research. The University of Arizona Press.

SUMNER, G.N.; ROMERO, R.; HOMAR, V.; RAMIS, C.; ALONSO, S.; ZORITA, E.; 2003. An estimate of the effects of climate change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late twenty first century. *Clim. Dynam.* 20 789–805

TESKEY, R.O.; WHITEHEAD, D.; LINDER, S.; 1994. Photosynthesis and carbon gain by pines. *Ecological Bulletins* 43 35-49

VALIENTE, O., 2001. Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación.
Investigaciones Geográficas 26 59-80